

Ⅲ-33 FEMを用いたソイルネイル工の引抜き力の検討

徳島大学大学院
全国法面防災協会
(株)極東技工コンサルタント
徳島大学大学院

学生員 ○鳥田 亨
井上祐介
直井克人
学生員 熊 潔

1. はじめに

地盤の安定化工法としてアンカー工やロックボルト工はよく用いられるが、のり砕工に併用されるソイルネイル工は補助的な工法として現在の設計法においてその効果を考慮していない。しかし、地盤に挿入されるソイルネイルは長さが1~2 (m) 程度のものも多く、その効果を考慮すれば経済的に有利となる。そこで本研究では、ソイルネイルの長さや地盤の状態（粘着力、内部摩擦角）の違う様々な条件下でのソイルネイル引抜き効果の評価をFEM解析で検討した結果をまとめた。

2. 解析手法

解析はFEM弾性解析のプログラムを使用し、平面ひずみ問題として行った。図-1に解析モデルを示す。水平地盤モデルの中央にソイルネイルが挿入されており、このソイルネイルに増分的に変位を与え、各要素ごとにモール・クーロンの破壊条件より局所安全率を計算した。破壊と判断した要素は弾性係数を5.0 (kgf/cm²)に落とす。ソイルネイルと接した要素が1列全て破壊した状態で作用しているソイルネイルを引っ張る力が限界引抜き力 (T_c) であると定義する。解析は「ソイルネイルの長さ」、「地盤の粘着力」、「地盤の内部摩擦角」、「引き抜く方向」、「ソイルネイル底部の拡幅」をパラメータとして限界引抜き力の大きさの変化を調べる。表-1~3に解析条件を示す。

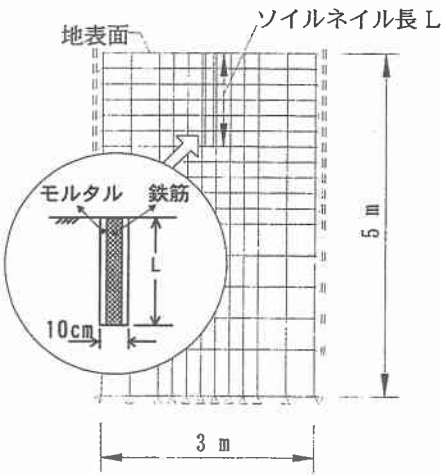


図-1 解析モデル

表-1 モデルの接点数と要素数

ソイルネイル長さ L	0.5 (m)	1.0 (m)	1.5 (m)	2.0 (m)	4.0 (m)
接点数	500	510	520	530	570
要素数	452	462	472	482	522

表-2 材料定数

材料	弾性係数 E (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 (kgf/cm ³)	せん断強度 (kgf/cm ²)	引張り強度 (kgf/cm ²)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
土 (砂、粘土)	応力依存 *1	0.35	0.002	モール・クーロン破壊条件による		
鉄	2.1×10^6	0.30	0.00785	2400	4100	4100
モルタル	3.0×10^5	0.167	0.00215	—	30	300

表-3 地盤の状態

地盤の種類	土の材料定数のパターン					
	粘着力 c (kgf/cm ²)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
砂	内部摩擦角 ϕ (°)	20	25	30	35	
	粘着力 c (kgf/cm ²)	0.5	1.0	1.5	2.0	
粘土	内部摩擦角 ϕ (°)	5	6	7	8	9

*1 弾性解析で土の特性を表すため、弾性係数が応力に依存するようにした。その依存関係としては豊浦砂の三軸圧縮試験による応力-ひずみ関係から読みとり、今回の砂地盤モデルの特性として採用した。また、粘土地盤の特性としては明石海峡海底地盤の三軸圧縮試験結果を参考にする。

3. 解析結果

図-2は地盤に挿入したソイルネイルの各長さごとの限界引抜き力をプロットしたものである。Lが大

きい程、 T_c の増加がわずかではあるが大きい。

図-3 は地盤の粘着力を変えた場合の引抜き力の解析結果を示したものである。 T_c は c に比例して増加する。

図-4 は地盤の内部摩擦角の引抜き力への影響を検討したものである。内部摩擦角を変化させても引抜き力はあまり影響を受けていない。

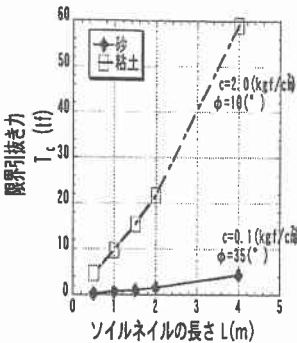


図-2 Lの影響

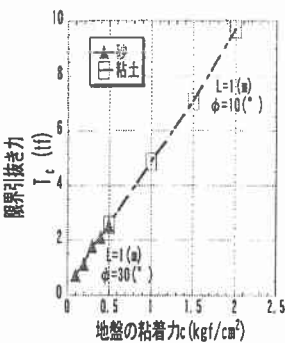


図-3 cの影響

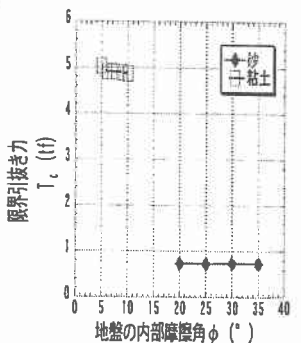


図-4 φの影響

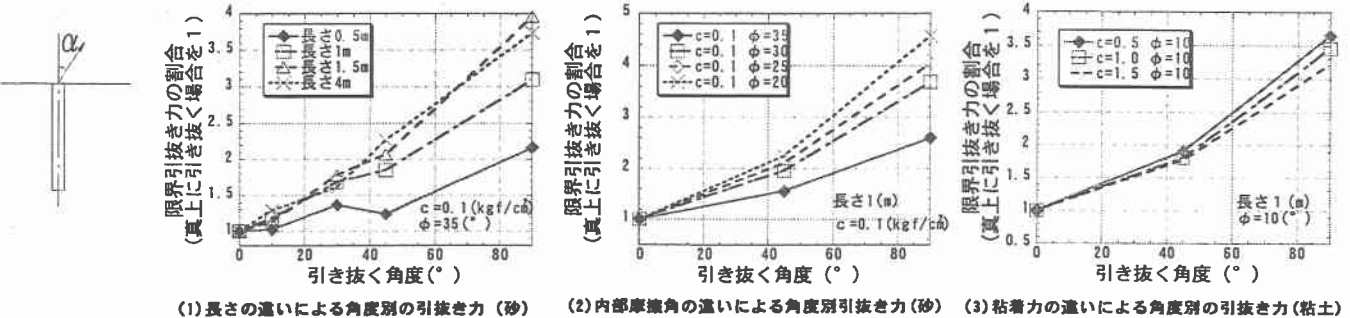


図-5 引き抜く方向別の引抜き力

図-5 ではソイルネイルを斜めに引き抜く場合の様々な条件を想定し、引抜き力の変化の違いを検討したものである。長さの違いによる影響 (図-5(1)) は、 $L=0.5\sim1.5$ (m)までは引抜き角度が大きいほど引抜き力は大きくなるが、 $L=1.5$ (m)以上ではあまり変わらない。図-5(2)では、真上への引抜きにあまり影響のなかった内部摩擦角によって引抜き力の違いが見られ、 ϕ が小さいほど変化が大きい。図-5(3)からは、 c が小さいほど変化はやや大きい、それほどの差はないことが言える。

地盤への定着をよくするためにソイルネイルの底部を拡幅する場合を想定した結果が図-6 である。底部幅を2倍にすると、引抜き力は約3.5倍になる。これは幅が20(cm)のソイルネイルの引抜き力と比較しても大きな値であると言える。また、拡底モデルのソイルネイルの長さは1メートルで、図-6を図-2の砂地盤モデルと比較したところ、底部幅を1.6倍にすることは長さを2倍にすることとほぼ同等であることが分かり、拡底の地盤定着効果は大きいことが分かる。

4. まとめ

現在の設計法では考慮されていないのり砕工のソイルネイルは、十分に地盤を抑止する役割を果す抵抗力を有する。ソイルネイルの効果は地盤の粘着力によって大きな違いが表れるが、内部摩擦角からはあまり影響を受けない。また、拡底による定着効果は大きく、材料コスト削減の面で注目できる。

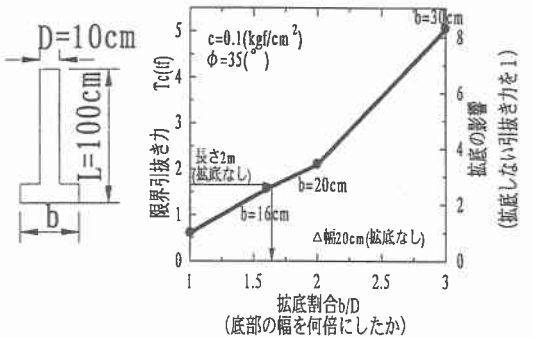


図-6 拡底割合別の引抜き力 (砂)